

Ausbaumaßnahmen in Tideästuarien der deutschen Nordseeküste und die Auswirkungen auf das Tidegeschehen

Von Hermann Harten

Zusammenfassung

Mit fortschreitender Industrialisierung und dem Anwachsen des Welthandels nahm auch die Bedeutung der Seeschifffahrt beträchtlich zu. Die Seewasserstraßen mußten ausgebaut werden. Die Ausbaumöglichkeiten in den einzelnen Ästuarien (Elbe, Weser, Jade, Ems) sind allerdings begrenzt. Die Baumaßnahmen umfassen nicht nur die Vertiefung der Fahrrinnen, sondern auch den Bau von Buhnen und Leitdämmen, die Festlegung von Sänden, die teilweise oder völlige Abdämmung von Ästuarien, Nebenflüssen oder -rinnen, die Verlegung von Schiffahrtsrinnen, den Bau von Häfen etc.

Durch diese Baumaßnahmen wird das Tidegeschehen mehr oder weniger beeinflusst. In den meisten Fällen werden die hydraulischen Verhältnisse verbessert, d. h., das Tideniedrigwasser fällt und das Tidehochwasser steigt, der Tidehub und das Tidevolumen vergrößern sich. Sowohl der Flut- als auch der Ebbstrom fließen kräftiger durch das Tideästuar.

Summary

With progress in industrialization and growth in world trade the importance of sea navigation increased considerably. Shipping channels had to be improved and this has been especially necessary over the past 30 years. The possibilities of improving certain estuaries (the Elbe, Weser, Jade and Ems) are limited. The engineering works include not only the deepening of navigation channels but also the construction of groins and training walls, stabilization of sand bars, the partial or total damming of estuaries, tributaries or minor channels, re-location of shipping channels, the building of harbours, etc. These works influence tidal phenomena to a greater or lesser extent. In most cases the hydraulic conditions are improved, e. g. the low water level falls and the high water rises, the tidal range and the tidal volume increase and the flow of both flood and ebb currents through the tidal estuary is strengthened.

Die deutsche Nordseeküste ist durch Wattenbereiche, die nord- und ostfriesischen Inselketten und nicht zuletzt durch die Ästuarien der Tideflüsse und durch Meeresbuchten geformt, in die die Tide in ständigem Wechsel von Ebbe und Flut ein- und ausströmt.

Die Tidewellen kommen vom Atlantik, im Norden aus dem Abschnitt Orkney/Shetland-Inseln und im Südwesten durch den Englischen Kanal in die Nordsee hinein. Die Tide von Norden läuft entlang der britischen Küste, trifft mit der aus dem Kanal kommenden zusammen, bildet unter dem Einfluß der Rechtsablenkung (Corioliseinfluß) eine Drehtide (Amphidromie) und fließt daher von Westen kommend in die Deutsche Bucht sowie weiter in die Ästuarien der Eider, Elbe, Weser und Ems und die Meeresbucht der Jade ein (Abb. 1).

Diese Ästuarien dienten bereits in vorgeschichtlicher Zeit als Transportwege. Der Tiefgang der damals gebräuchlichen Schiffe war unbedeutend und die natürliche Wassertiefe ausreichend. Das Marschland war nur dünn besiedelt und wurde nicht durch Deiche geschützt, d. h., die Sturmfluten konnten leicht und ungehindert eindringen und das flachliegende Land überfluten. Nach und nach wurde, bedingt durch das Anwachsen der Bevölkerung, die ganze Küste eingedeicht (ROHDE, 1978), und die Sturmfluten konnten jetzt nur noch stromaufwärts in die Tideästuarien einlaufen.

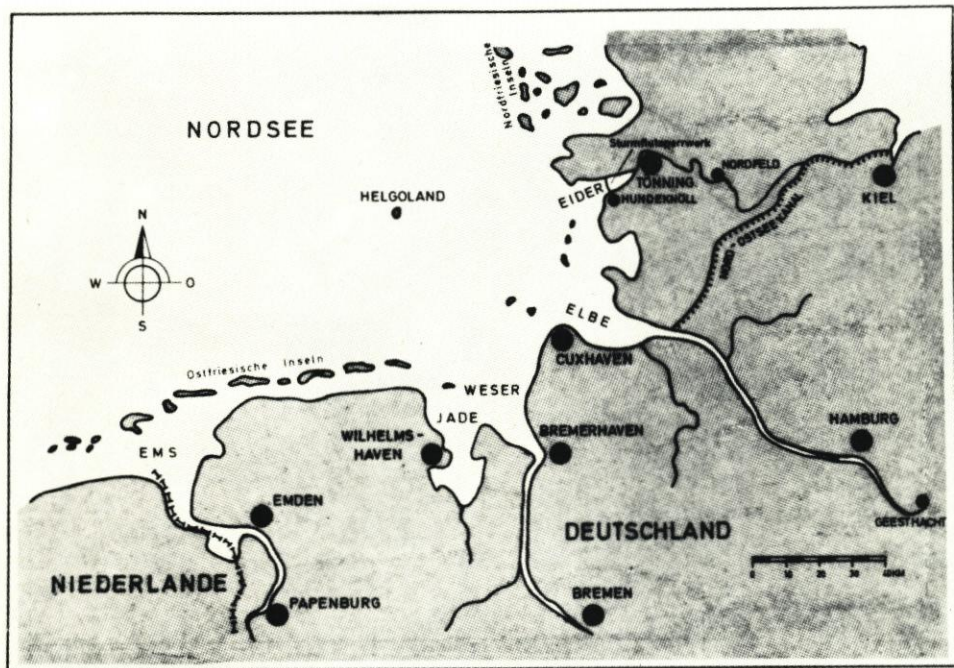


Abb. 1. Deutsche Bucht, Übersichtsplan

Bis zum 19. Jahrhundert hatten die Schiffe einen maximalen Tiefgang von 3,5 m. Mit der rasanten industriellen Entwicklung wuchs auch die Bedeutung der Seeschifffahrt beträchtlich. Aus wirtschaftlichen Gründen wurde das Transportmittel Schiff vergrößert. Die Entwicklung führte vom Segelschiff über das kombinierte Segel-Dampfschiff zum einfachen Dampfer und endlich zu den heutigen Riesentankern und Containerschiffen.

Aus diesen Gründen mußten die Schifffahrtsstraßen verbreitert und vertieft werden.

Heute können unter Ausnutzung der Tide Schiffe mit einem Tiefgang von 20 m die neuen Entladevorrichtungen von Wilhelmshaven erreichen. Der mögliche Tiefgang für die Seehäfen Bremerhaven und Hamburg beträgt 14 m, und Emden kann z. Z. mit einem maximalen Tiefgang von 10 m befahren werden (Abb. 2).

Die Ausbaumaßnahmen umfassen nicht nur die Verbreiterung und Vertiefung von Schifffahrtsrinnen, sondern auch den Bau von Buhnen, Leitdämmen, die Festlegung von Platen, die teilweise oder vollständige Abdämmung von Ästuarien oder deren Nebenflüsse, die Verlegung von Hauptschifffahrtsrinnen, das Anlegen neuer Häfen etc.

Zunächst sollen die Auswirkungen der Vertiefung einer Schifffahrtsrinne in einem Ästuar aus theoretischen Betrachtungen heraus beurteilt werden. Die einfache Formel (1) zeigt eine wichtige Abhängigkeit:

$$v_{im} = \frac{V_{Ti}}{D_i F_{im}} \quad (1)$$

v_{im} [m/s]	= mittlere Flut- bzw. Ebbgeschwindigkeit
V_{Ti} [m ³]	= Tidevolumen (Flut bzw. Ebbe)
D_i [s]	= Flut- bzw. Ebbdauer
F_{im} [m ²]	= mittlerer Durchflußquerschnitt (Flut bzw. Ebbe)

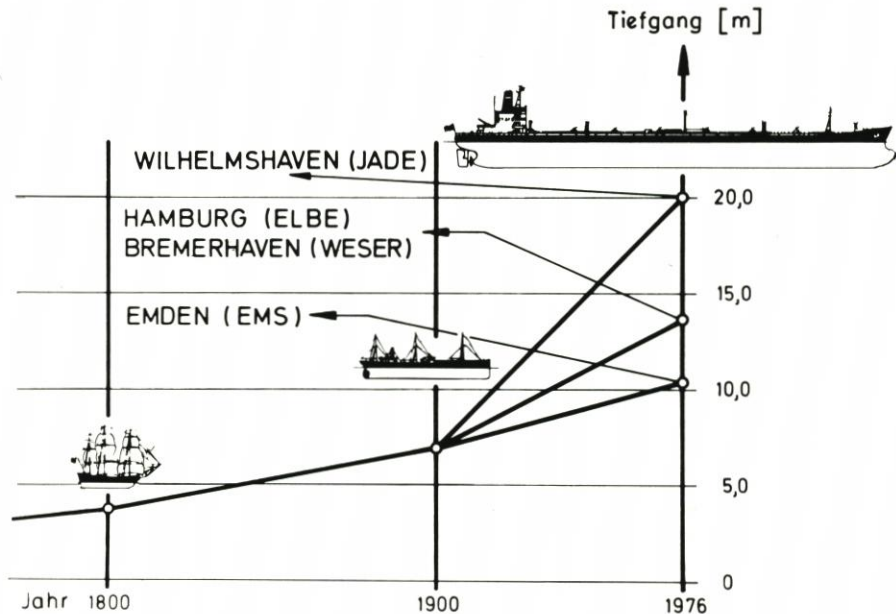


Abb. 2. Entwicklung des Tiefgangs der Schiffe für die deutschen Seewasserstraßen

Wenn sich ein Durchflußquerschnitt im natürlichen Gleichgewicht zum Abfluß befindet (sandiges Sohlmaterial vorausgesetzt), ist leicht einzusehen, daß v_{im} in Relation zum Sohlmaterial steht. Bei Erweiterung des Querschnitts verringert sich die Fließgeschwindigkeit, d. h., bei Annahme unveränderter Tidevolumina sowie der Flut- und Ebbedauer kommt es auf Grund der verringerten Fließgeschwindigkeit zur Sedimentation. Diese Phase dauert so lange an, bis das natürliche Gleichgewicht wieder hergestellt ist. Daraus läßt sich zusätzlich leicht ableiten, daß direkt nach einer Rinnenvertiefung die Intensität der Sedimentation am größten ist.

Soll der Durchflußquerschnitt trotz Vertiefung aus Gründen des Gleichgewichts erhalten bleiben, so muß das Baggergut seitlich der Rinne im selben Querschnitt verklappt werden. Theoretisch ist es daher möglich, dem Fließsystem eine ideale Trichterform mit stetigem Strömungsverlauf zu geben. Nach MANNING-STRICKLER ist:

$$v = K \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (2)$$

Teilt man das Durchflußprofil in viele Abschnitte (Abb. 3) und nach zusätzlicher Vereinfachung kann die Formel wie folgt geschrieben werden:

$$v = K \cdot J^{1/2} \cdot n \sum_{i=1}^n t_i^{2/3}$$

Daraus ergibt sich, daß mit zunehmender Wassertiefe t_i (Teilquerschnitt) die Fließgeschwindigkeit steigt; d. h., im vertieften Rinnenabschnitt kommt es zu einer Strömungskonzentration, während in den angrenzenden Bereichen, in denen das Baggergut abgelagert wurde, mit abnehmender Tiefe die Fließgeschwindigkeit geringer wird. Da auch die Rauigkeitsverhältnisse mitwirken und im allgemeinen durch Vertiefung ein hydraulisch günstigerer Durchflußquerschnitt entsteht, schwingt die Tidewelle ungehinderter in das Ästuar ein und aus. Dies bewirkt eine Vergrößerung von Tidehub und Tidevolumen. Modellversuche mit einem

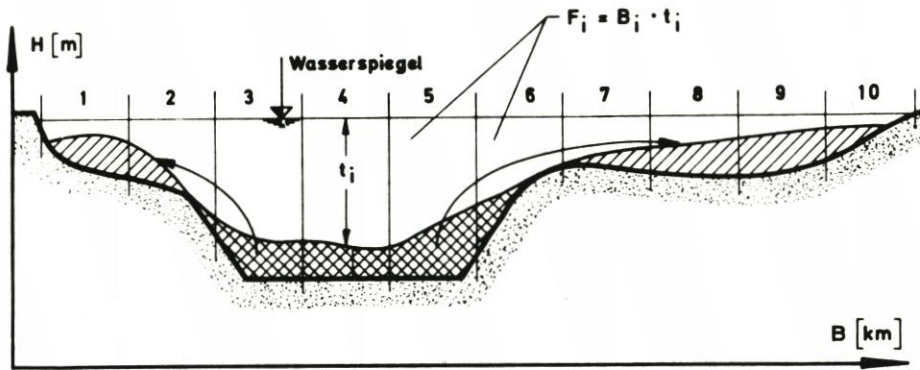


Abb. 3. Durchflußquerschnitt, schematisch

idealisierten Abflußprofil haben folgendes Resultat ergeben: Die Zunahme des Tidehubes geht zu einem Viertel auf den Anstieg des Hochwassers und zu drei Vierteln auf das Absinken des Niedrigwassers. Außerdem verkürzt sich die Fortschrittszeit, d. h., die Fortschrittsgeschwindigkeit der Tidewelle nimmt zu; dabei steigen im allgemeinen die Fließgeschwindigkeiten (Gefälleströmung) in der erweiterten, vertieften Hauptrinne. Die Größenordnung der Änderungen ist jedoch für jedes Ästuar anders. Das Ergebnis ist abhängig vom prozentualen Querschnittsanteil der Ausbaumaßnahmen zum Gesamtquerschnitt, wobei zu bedenken ist, in welchem Verhältnis der bauliche Eingriff die hydraulische Wirksamkeit des Durchflußquerschnitts verbessert. Im allgemeinen kann die Tide aufgrund geringerer Reflexion und vermindertem Energieverlust (weniger Reibung) ungehinderter in das Ästuar einströmen. Das gilt natürlich nicht bei Vollabdämmung oder Maßnahmen, die das hohe Auflaufen einer Sturmflut mindern sollen.

Im folgenden wird der Einfluß von Ausbaumaßnahmen auf die Tidehoch- und Tideniedrigwasserstände sowie die Häufigkeit von Sturmfluten für die Ästuarien und Seeschiffahrtsstraßen der deutschen Küste beschrieben.

Die Eider

Die Darstellung Abb. 4 zeigt die jährlichen mittleren Hoch- und Niedrigwasserstände am Pegel Tönning von 1900 bis 1973. Die gepunktete Linie markiert die mittleren Werte über eine Periode von fünf Jahren. Durch die vollständige Abdämmung bei Nordfeld im Jahre 1936 stieg das Hochwasser um 18 cm, das Niedrigwasser fiel um ca. 44 cm. Nach einem so drastischen Eingriff in das Strömungsgeschehen benötigt der Fluß im allgemeinen längere Zeit (10 oder sogar 30 Jahre), um sein natürliches Gleichgewicht zwischen Strömung und Morphologie wieder herzustellen.

Im Jahre 1973 wurde das Sturmflutsperrwerk „Eiderdamm“ in der Linie Hundeknöll-Vollerwiek fertiggestellt. Der Einfluß des Sturmflutsperrwerks auf die hydrologischen Verhältnisse der Tide wurde im Modell untersucht. Die mittlere Tide wird nicht beeinflusst. Lediglich im Bereich der 240 m breiten Sperrwerksöffnung nimmt die Fließgeschwindigkeit zu. Höher auflaufende Tiden jedoch werden verändert. Bei Sturmflut wird das Sperrwerk geschlossen, d. h., die Sturmflut wird an der Sperrstelle gekehrt und läuft nicht mehr bis nach Tönning und Nordfeld. Da auch die Sturmflutwasserstände in das Jahresmittel eingehen, sinkt der Wert des mittleren Jahreshochwassers ab (Abb. 4), (HARTEN, 1970 u. 1976).

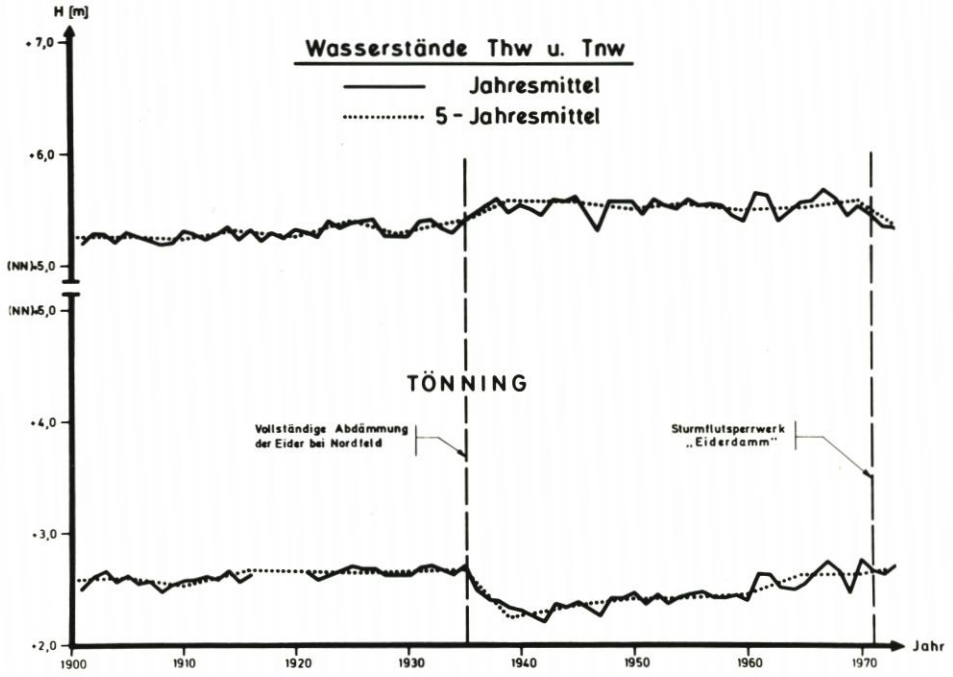


Abb. 4. Wasserstandsganglinien am Pegel Tönning (Eider)

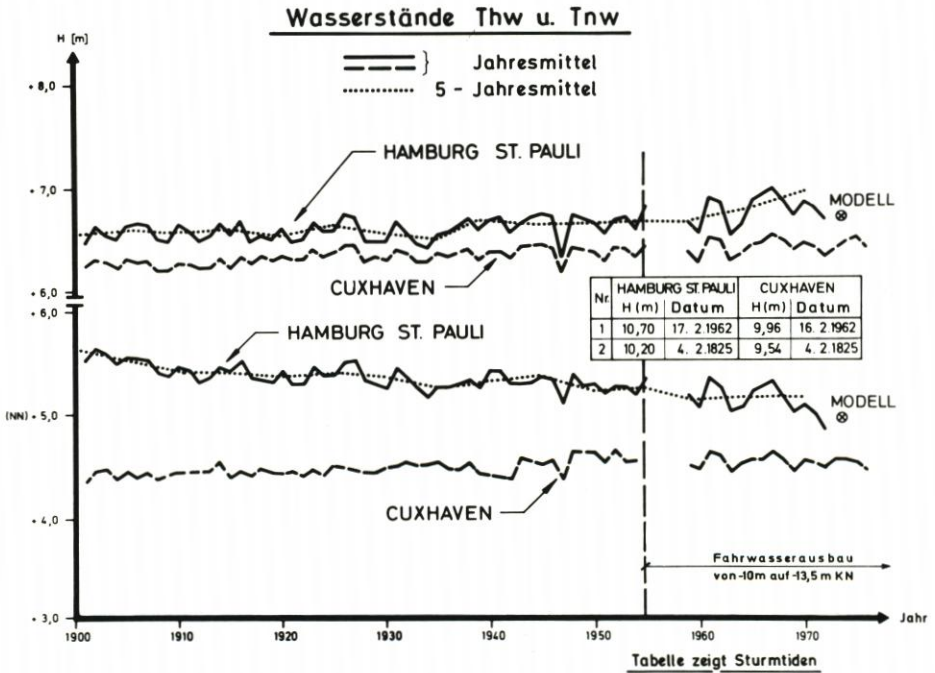


Abb. 5. Wasserstandsganglinien an den Pegeln Cuxhaven und St. Pauli (Elbe)

Die Elbe (Abb. 5)

Die Wasserstandsganglinien für den Pegel Cuxhaven zeigen nur einen geringen Anstieg. Am Pegel Hamburg-St. Pauli steigt das Hochwasser und das Niedrigwasser sinkt, d. h., der Tidehub nimmt zu; das sind Auswirkungen von Baumaßnahmen. So wurde z. B. in neuerer Zeit (1954 bis heute) das Fahrwasser von 10 m auf 13,5 m unter KN ausgebaut. Dadurch ist das Tnw weiter abgesunken. Der starke Anstieg des Thw ist sicher zum größten Teil auf Vordeichungen, die sich im allgemeinen nur bei höheren Wasserständen (Sturmfluten) auswirken, zurückzuführen. Die beiden Modellergebnisse wurden für eine mittlere Tide nach Beendigung des 13,5 m-Ausbaus bestimmt. Sie zeigen ebenfalls die sich in der Natur abzeichnende Tendenz.

Der notwendige Tiefgang für die Binnenschifffahrt und das absinkende Tnw machten den Bau des Wehres Geesthacht erforderlich.

Die Sturmfluten von 1825 und 1962 zeigen an den Pegeln Cuxhaven und Hamburg-St. Pauli sehr ähnliche Wasserstandswerte. Die Tide von 1825 liegt allerdings sowohl in Cuxhaven als auch in Hamburg nahezu um 50 cm unter dem Thw von 1962. Die morphologischen Bedingungen von 1825 und 1962 sind sehr verschieden voneinander. Eine Elbe-Karte von 1816 (BEAUTEMPES-BEAUPRE) gibt einen guten Überblick. Im Jahre 1865 (Karte von SCHUBACK) betrug die Wassertiefe im Hamburger Raum, speziell bei Blankenese, 3,0 m, maximal 4,0 m unter normalem Tideniedrigwasser.

Offensichtlich hängt der Sturmflutverlauf nicht so sehr von den tiefen Rinnenabschnitten eines Durchflußquerschnitts ab, sondern mehr von den großen, darüberliegenden Sturmflutquerschnittsflächen.

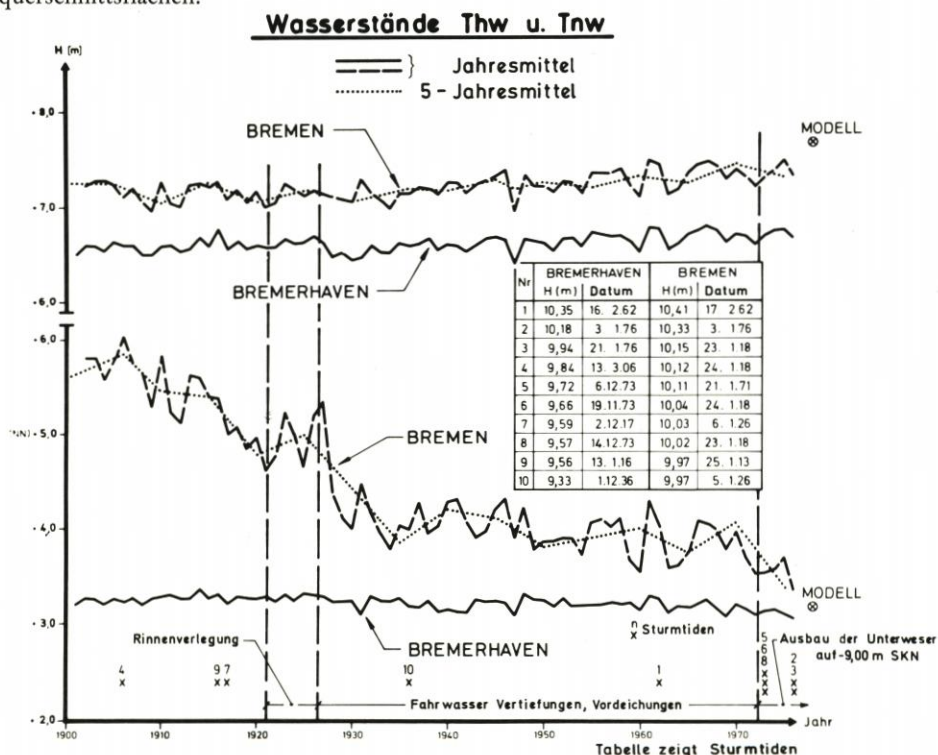


Abb. 6. Wasserstandsganglinien an den Pegeln Bremerhaven und Bremen (Weser)

Die Weser (Abb. 6)

Die am Pegel Bremerhaven registrierten Wasserstände zeigen kaum Veränderungen, da diese sehr schnell im weiten Areal der Außenweser ausgeglichen werden können. Der Pegel Bremen jedoch zeigt ein deutliches Absinken des Niedrigwasserstandes. Das ist auf die Vertiefung im Unter- und Außenweserbereich zurückzuführen sowie auf die Verlegung der Schifffahrtsrinne von 1921–1928 in den von der Natur bereits bevorzugten Fedderwarder Arm. Sicherlich beeinflussen auch noch andere Maßnahmen dieses Absinken. Die Modellergebnisse wurden für eine mittlere Tide nach Abschluß des 9-m-Ausbaues der Unterweser ermittelt.

Eine Anhäufung von Sturmtiden zeigt sich um die Jahre 1915 und 1975. Bei einem Vergleich der Werte beider Tabellen (Abb. 6) ist zu erkennen, daß nicht jede Sturmtide bei Bremerhaven auch in Bremen auftritt und umgekehrt.

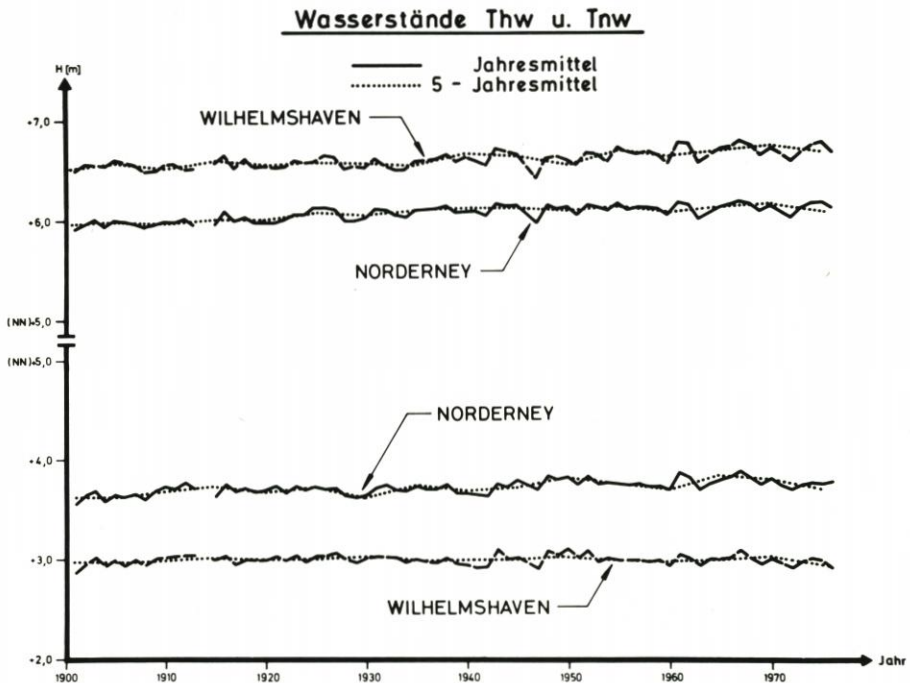


Abb. 7. Wasserstandsganglinien an den Pegeln Wilhelmshaven (Jade) und Norderney

Die Jade (Abb. 7)

Beide Pegel, sowohl Wilhelmshaven als auch Norderney, liegen in Gebieten mit angrenzenden großen Wasserflächen. Daher registriert der Pegel Wilhelmshaven auch keine Auswirkungen hinsichtlich der Jade-Vertiefung von 10,0 m auf 18,5 m unter KN. Am Pegel Wilhelmshaven steigt nur der mittlere Wert des Thw geringfügig an. An der Wasserstandsanhebung am Pegel Norderney ist der durch die Küstensenkung entstandene Wasserspiegelanstieg beteiligt (Abb. 7).

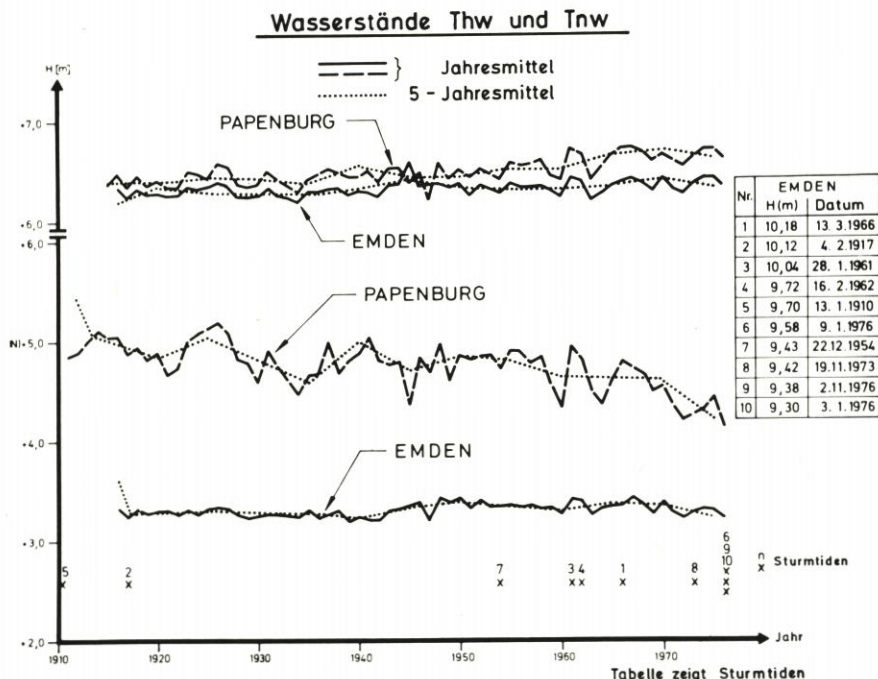


Abb. 8. Wasserstandsganglinien an den Pegeln Emden und Papenburg (Ems)

Die Ems (Abb. 8)

Der Pegel Emden liegt in der Emsmündung und zeigt daher nur geringe Schwankungen im Verlauf der mittleren Jahreswasserstände. Am Pegel Papenburg sind dagegen größere Veränderungen zu erkennen. In diesem Gebiet sind keine größeren Baumaßnahmen vorgenommen worden. Bei dem verhältnismäßig kleinen Durchflußquerschnitt der Unterems ist das Absinken des Niedrigwasserstandes möglicherweise auf kleinere, aber sehr wirksame Regulierungsmaßnahmen in der Unterems und Ausbauarbeiten in der Außenems zurückzuführen. Die Auswirkungen von Baumaßnahmen in der Außenems können unter Umständen in der Unterems instabile Verhältnisse hervorrufen, die über rückschreitende Erosion nach und nach wieder zu einem natürlichen Gleichgewicht führen. Sturmfluten traten konzentriert in den Jahren 1910 und 1970 auf.

Es ist nicht auszuschließen, daß bei dem Phänomen des Absinkens der Niedrigwasserstände in den beschriebenen Ästuarien auch Veränderungen der Tideverhältnisse (z. B. Tideverlauf) der aus dem Seebereich anlaufenden Tiden mitwirken. Mit den Kenntnissen der historischen Entwicklung, aus Naturmessungen und den Ergebnissen der Modellversuche können die Schifffahrtswege optimal ausgebaut werden.

Schriftenverzeichnis

- ROHDE, H.: The History of the German Coastal Area. Die Küste, H. 32, 1978.
 HARTEN, H. u. VOLLMERS, H.: The Estuaries of the German North Sea Coast. Die Küste, H. 32, 1978.

- HARTEN, H.: Abdämmung der Eider. Modellversuche im Tidemodell. Mitt. der Bundesanstalt für Wasserbau, Nr. 40, 1970.
- HARTEN, H. u. KNISS, H. G.: Eiderdamm, Natur- und Modellmessungen. Wasserwirtschaft, H. 12, 1976.
- HENSEN, W. u. WEGNER, R. H.: Ausbau der seewärtigen Zufahrten zu den deutschen Nordseehäfen. Hansa, Nr. 15, 1971.
- HOVERS, G.: Einfluß von Strombauwerken auf die morphologische Entwicklung eines Tideflusses. Mitt. der Bundesanstalt für Wasserbau, Nr. 34, 1973.